

Universidad de Alicante

INGENIERÍA ROBÓTICA. ROBOTS MÓVILES

ROBÓTICA MÓVIL SUBMARINA

Trabajo teórico

Autores:

Victoria Nikitina

Celia Soler San Nicolás

Luis Viejo López

Iñigo Zárate Rico

Enero 2023

Índice general

1. Introducción	2
2. Estado del arte	3
3. Localización y Mapeado	5
3.1. Navegación sin mapa	5
3.1.1. Mapas de coste	6
3.2. Algoritmos de Localización	7
3.2.1. SURF3DSLAM	7
3.3. Instrumentación	7
3.4. Sistemas de Navegación y detección de obstáculos	8
4. Aplicaciones	9
4.1. Exploracion y mapeo submarino	9
4.2. Monitoreo ambiental	10
4.3. Inspección de estructuras submarinas	10
4.4. Salvamento y recuperación	11
4.5. Agricultura submarina	11
4.6. Investigación oceanográfica	12
5. Ejemplos reales	13
6. Conclusión	16

Apartado 1

Introducción

La robótica submarina constituye uno de los campos más inexplorados de la naturaleza humana. El medio a explorar resulta en una gran problemática a nivel de exploración tripulada, debido al entorno arriesgado e inseguro que plantea el fondo marino. Este aspecto de la robótica soluciona estos riesgos y permite la adquisición de información de las regiones del planeta sobre las cuales el es conocido una minúscula parte en comparación al resto del mundo.

Las nuevas tecnologías de este campo avanzan rápidamente, permitiendo el desarrollo de la comunidad científica, la creación de nuevos campos de estudio y también intervenir en desastres como lo son las fugas en instalaciones petrolíferas.



Figura 1.1: Robótica submarina

Apartado 2

Estado del arte

La creación del campo de la robótica submarina como todo campo de la robótica sigue siendo joven, datando de la década ´ de los 50 del siglo pasado con la construcción de un robot submarino operado remotamente nombrado POODLE desarrollado por Dimitri Rebikoff en Francia.

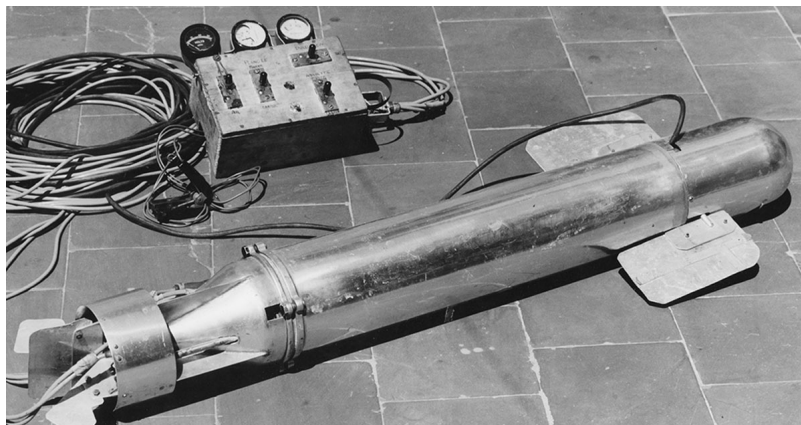


Figura 2.1: Primer robot submarino

Como desarrollo en 1947 comenzaron las primeras investigaciones, lideradas por Raymond Goertz del Argonne National Laboratory en Estados Unidos, encaminadas al desarrollo de algún tipo de manipulador de fácil manejo a distancia mediante el uso por parte del operador de otro manipulador equivalente. Todo ello diseñado con objetivos armamentísticos y militares en primer lugar, sin embargo su progreso dio lugar a distintos tipos dentro de la robótica submarina.

Considerando su nivel de autonomía, el tipo de misión a realizar y su sistema de propulsión se

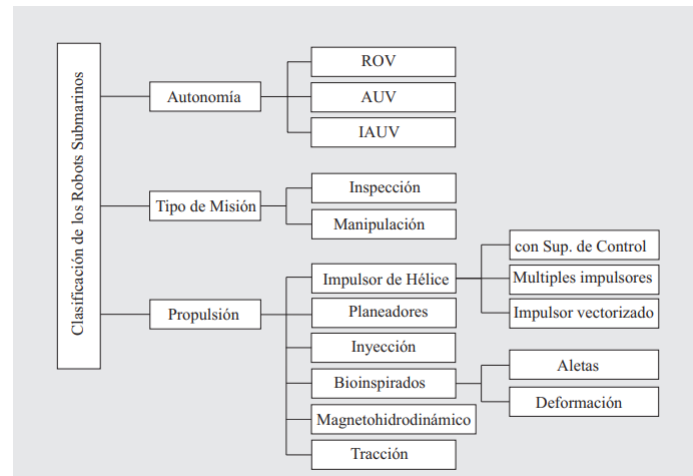


Figura 2.2: Tipos de robótica submarina

crean distintas agrupaciones a estudiar. Cada uno de estos campos plantea un interesante subcampo estudiable sin embargo este trabajo estará centrado al rededor de la localización y mapeado junto a sus distintos tipos de algoritmos para este uso.

Apartado 3

Localización y Mapeado

Para hablar de los sistemas de Localización y Mapeado de los robots submarinos, nos centraremos en los VSA, que son submarinos robóticos pequeños que no permanecen conectados por cable a otros vehículos o buques. Los que tienen comunicación por cable normalmente son teleoperados por lo que no necesitan mapa y su localización resulta más sencilla.

Este tipo de robots poseen multitud de usos científicos, sobre todo como plataformas de sensores estables. No obstante, su empleo puede plantear dificultades al no resultar sencillo determinar su ubicación.

3.1. Navegación sin mapa

El sistema de navegación, al no poder contar con un mapa, se basará sólo en la información de posición del robot y las lecturas del láser para moverse por el entorno. Para esto utilizará un sistema de mapas de coste, que se componen de los obstáculos que el láser detecta en un determinado radio, para tener en cuenta las dimensiones del robot y evitar colisiones.

Para realizar la navegación autónoma se utilizará el paquete de navegación del Summit. Para utilizar el sistema de navegación sin mapa se abre lanzando el paquete *move_base_nomap.launch*. Este paquete de navegación ejecuta la rutina de movimiento basado en mapas de coste

3.1.1. Mapas de coste

Estos mapas se dividen en cuadrículas, y a cada una de estas se asignan valores (que se muestran en colores en Rviz), calificando cada cuadrícula como espacio libre, circunscrito, inscrito, letal o desconocido. Se establecen valores de coste entre 0 y 254 según el riesgo de colisión.

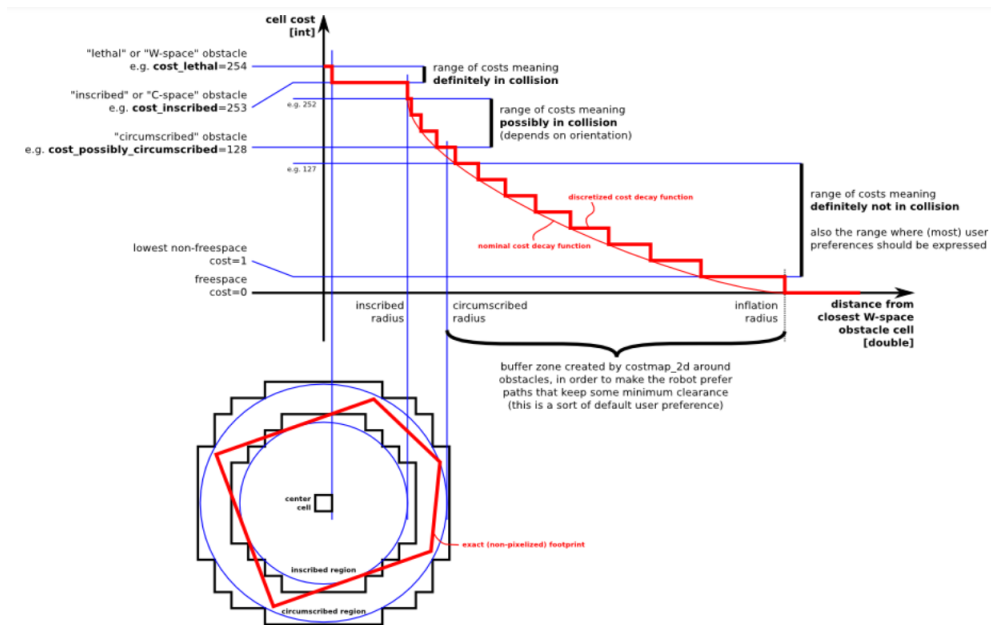


Figura 3.1: Caption

Para elegir un destino, planner local y planner global irán eleigiendo el mejor camino en función del *costmap*. El planner global considera todos los obstáculos conocidos y decide cuál será la dirección a tomar por el planificador local. Ambos se nutren de la información de sensores para insertar información de ocupación (mark) o eliminarla (clear).

3.2. Algoritmos de Localización

3.2.1. SURF3DSLAM

SURF3DSLAM es el resultado de un proyecto financiado por la Unión Europea cuyo cometido era el de desarrollar una técnica para ubicar VSA en tres dimensiones empleando sus propios sensores. Esta técnica, llamada Localización y Mapeo Simultáneos (SLAM), se vale de ecosondas precisas de haz múltiple para detectar la profundidad del vehículo y percibir su entorno. Al sistema no le afectan las condiciones de visibilidad ni iluminación. Se pretendía adaptar a tres dimensiones una técnica bidimensional para lograr un registro probabilístico basado en sónar e imágenes de rango (range image).

Los autores del proyecto describen un método de SLAM basado en la pose que se apoya en una correspondencia probabilística de superficies y un perfilador por sónar de haz múltiple. El algoritmo utilizado combina franjas exploradas del fondo marino y realiza cálculos de la posición. La técnica demostró satisfactoriamente su funcionamiento utilizando datos reales de una encuesta submarina. El equipo del proyecto también investigó una técnica para la adaptación a la superficie.

3.3. Instrumentación

La construcción de mapas precisos (terrestres o submarinos) requiere sensores precisos, pero también el conocimiento preciso de la posición del sensor. Medir la posición de nuestro robot es un problema difícil bajo el agua debido a dos razones principales: primero, la señal de GPS o un sistema de posición no está disponible bajo el agua debido a la alta atenuación de señales electromagnéticas en el medio. En segundo lugar, los sensores de navegación que se utilizan actualmente son caros, requieren grandes cantidades de energía y son relativamente grandes.

Los sensores que hoy en día se utilizan en los robots, son de alta precisión y están basados en giroscopios y acelerómetros de fibra óptica. Todavía se sigue trabajando en sensores menos costosos, que a pesar de ser menos fiables y de compleja calibración, puedan ofrecer resultados similares gracias al procesamiento de su señal con algoritmos.

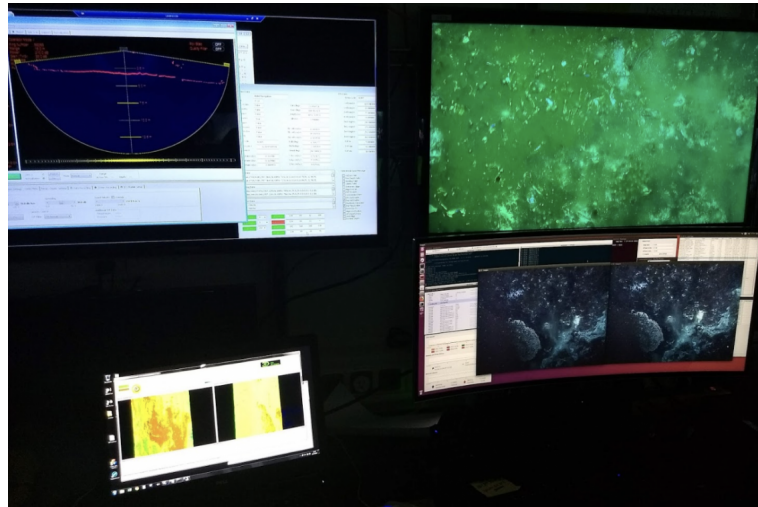
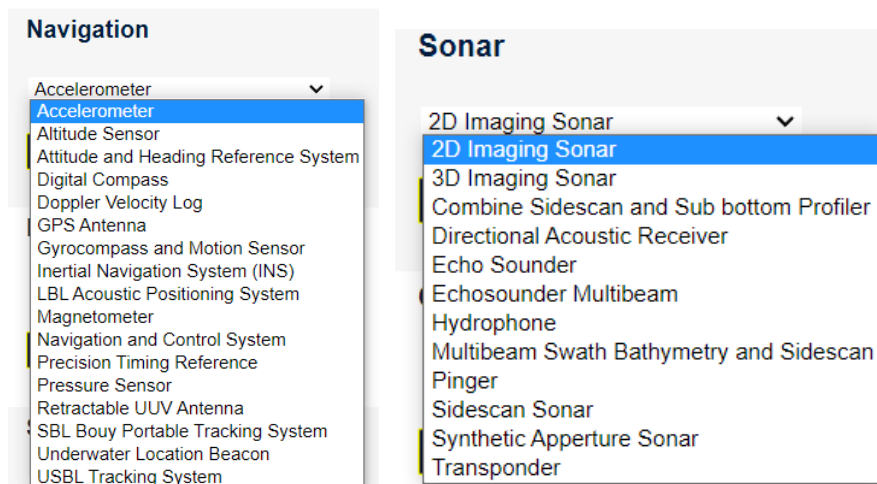


Figura 3.2: Información de los sensores

3.4. Sistemas de Navegación y detección de obstáculos

Desde AUV Applications Center (AUVAC), se puede acceder a los database donde están registrados todos los modelos de AUVs. Dado que hay una opción para buscar robots submarinos registrados según sus características tecnológicas, podemos encontrar con que están disponibles todas las siguientes tecnologías de Navegación distintas:



(a) Sistemas de Navegación

(b) Sonar

Apartado 4

Aplicaciones

En este apartado se van a exponer las distintas aplicaciones reales que se encuentran en la actualidad de la robótica móvil submarina. Estas son; **exploración y mapeo submarino, monitoreo ambiental, inspección de estructuras submarinas, salvamento y recuperación, agricultura submarina, investigación oceanográfica**

4.1. Exploracion y mapeo submarino

La exploración y el mapeo submarino son importantes para entender la geología y la biología de los fondos marinos, y los robots submarinos móviles juegan un papel crucial en estas tareas, ya que se utilizan para explorar y mapear los fondos marinos, y pueden ser programados para seguir una ruta específica o pueden ser controlados remotamente para explorar áreas desconocidas.

Por otro lado, una de las ventajas que aporta el uso de robots es que pueden operar de forma autónoma, lo que significa que no requieren una tripulación a bordo. Esto permite que desplazamiento a grandes profundidades y prolongados períodos de inmersión, lo que es especialmente útil para la exploración de zonas profundas.

Los robots submarinos móviles suelen estar equipados con una variedad de sensores y equipos de medición, como cámaras, sonar, magnetómetros y sondas que permiten a los científicos recolectar datos sobre la geología del fondo marino, la vida marina y las condiciones ambientales. Estos datos se utilizan para crear mapas tridimensionales de los fondos marinos, lo que permite a los científicos visualizar la topografía submarina y el paisaje marino.

Finalmente, se está desarrollando cada vez más para integrar inteligencia artificial y aprendi-

zaje automático, lo que capacita a los robots adaptarse a diferentes entornos submarinos y tomar decisiones independientes. Esto está permitiendo una exploración y mapeo submarino más preciso y eficiente, así como el descubrimiento de nuevos conocimientos sobre los océanos y los fondos marinos.

4.2. Monitoreo ambiental

El monitoreo ambiental submarino se refiere a la recolección de datos sobre el estado del agua, la calidad del aire, la vida marina y otros parámetros ambientales en el fondo marino y en el agua cerca de la superficie. Los robots submarinos móviles juegan un papel importante en esta tarea, ya que pueden operar de forma autónoma y recolectar datos en áreas difíciles o imposibles de alcanzar para seres humanos.

Estos robots suelen estar equipados con una variedad de sensores y equipos de medición, como cámaras, sondas, sensores de temperatura, sensores de salinidad, sensores de claridad del agua y sensores de dióxido de carbono. Estos sensores permiten a los robots medir los parámetros ambientales en el agua y en el fondo marino. Los datos recolectados se utilizan para crear mapas de la calidad del agua y para estudiar la salud de los ecosistemas submarinos.

Asimismo, se utilizan con el objetivo de monitorear la actividad humana en el océano, como la contaminación por plásticos y otros residuos, así como para evaluar el impacto de la industria marina sobre los ecosistemas submarinos.

Finalmente, son utilizados para realizar estudios a largo plazo de las zonas marinas, ya que pueden operar durante períodos prolongados, lo que es especialmente útil para el seguimiento de cambios en los ecosistemas submarinos.

4.3. Inspección de estructuras submarinas

La inspección de estructuras submarinas es una tarea importante para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento de la mismas, como pueden ser, plataformas petrolíferas, represas, instalaciones de energía eólica submarina, tuberías submarinas entre otras.

Los robots submarinos móviles son ideales para la inspección de estructuras submarinas debido a su capacidad para operar de forma autónoma y acceder a áreas difíciles o imposibles de alcanzar para seres humanos. Estos robots pueden ser programados para seguir una ruta específica alrededor de la estructura (añadiendo la automatización de inspecciones periódicas para detectar

posibles problemas antes de que causen algún tipo de daño estructural), o pueden ser controlados remotamente para explorar áreas específicas de la misma. Dichos robots son equipados con sensores como cámaras, sonar, magnetómetros, sondas de corriente, sensores de temperatura y sensores de presión, que permiten a los robots recolectar datos sobre la estructura submarina y su entorno. Los datos recolectados se utilizan para detectar problemas o daños en la estructura submarina, como corrosión, deformaciones estructurales, fisuras, entre otros.

Por otro lado, también pueden ser equipados con herramientas para realizar reparaciones o mantenimiento en la estructura submarina, como soldadura, corte y perforación.

4.4. Salvamento y recuperación

El salvamento y recuperación submarinos son tareas cruciales para salvar vidas y recuperar bienes valiosos que se encuentran debajo del agua.

Los robots submarinos móviles pueden ser utilizados para ayudar en operaciones de salvamento de naufragios, buques hundidos, submarinos o cargamentos perdidos, y otros objetos sumergidos valiosos. Estos robots pueden ser programados para seguir una ruta específica para buscar un objeto o pueden ser controlados remotamente para explorar áreas desconocidas.

Estos robots móviles suelen estar equipados con sensores como cámaras, sonar, magnetómetros, que permiten a los robots detectar objetos sumergidos y recolectar datos sobre la ubicación y el estado de los mismos. Del mismo modo, pueden añadir a su equipación herramientas para recuperarlos, como pinzas, ganchos y remolques.

Además, los robots submarinos móviles también pueden ser utilizados para ayudar en operaciones de recuperación de cargamentos perdidos o dañados, como contenedores o barriles, y para recuperar residuos y contaminación en el fondo marino. Estos robots pueden ser programados para seguir una ruta específica para recolectar objetos específicos o pueden ser controlados remotamente para buscar y recolectar objetos en un área específica.

4.5. Agricultura submarina

La agricultura submarina se refiere a la producción de alimentos y materias primas mediante la cultivo de organismos marinos, como algas y otros organismos. Una de las ventajas de la agricultura submarina es que los organismos marinos, especialmente las algas, crecen rápidamente y no requieren

terreno, pesticidas, ni agua dulce en grandes cantidades, es una forma de producir alimentos y materias primas de manera sostenible.

Los robots submarinos móviles pueden ser utilizados para recolectar semillas y propagar el cultivo, para mantener y controlar las condiciones de cultivo, como la iluminación y la temperatura, para realizar tareas de limpieza y mantenimiento, así como para recolectar los cultivos maduros. Además, pueden estar equipados con sensores y equipos para medir parámetros ambientales, como la temperatura, la salinidad y la iluminación, y pueden ser programados para ajustar estos parámetros para optimizar el crecimiento de los cultivos.

Finalmente, los robots submarinos móviles también pueden ser utilizados para recolectar cultivos maduros mediante el uso de herramientas mecánicas específicas, como cuchillas, pinzas o remolques. Estos robots pueden ser programados para recolectar cultivos de manera autónoma o pueden ser controlados remotamente para recolectar cultivos en áreas específicas.

4.6. Investigación oceanográfica

La investigación oceanográfica se refiere al estudio científico de los océanos y sus procesos.

Los robots submarinos móviles pueden ser utilizados para recolectar datos sobre la temperatura, la salinidad, la corriente, la claridad del agua y otros parámetros oceanográficos en diferentes profundidades y zonas del océano. Estos robots pueden ser programados para seguir una ruta específica o pueden ser controlados remotamente para explorar áreas desconocidas.

Además, suelen estar equipados con sensores como sondas, sensores de oxígeno disuelto, sensores de nutrientes, entre otros, para medir y analizar los procesos oceanográficos y la vida marina tanto en el fondo marino como cerca de la superficie. Estos robots pueden recoger datos a lo largo del tiempo, permitiendo estudios a largo plazo.

Por otro lado, también pueden estar equipados con cámaras y otras herramientas para tomar muestras de agua, sedimentos y vida marina, permitiendo la programación para realizar investigaciones específicas, como la búsqueda de nuevos recursos naturales, el estudio de los ecosistemas marinos, y el seguimiento de cambios en el clima y en la calidad del agua.

En general, los robots submarinos móviles permiten a los científicos y a otros profesionales acceder a áreas submarinas que antes eran inaccesibles o peligrosas para seres humanos, lo que está provocando nuevos descubrimientos y mejora en la capacidad de gestión y conservación del océano.

Apartado 5

Ejemplos reales

Uno de los ejemplos de VSA sería **Autosub Long Range (ASLRA)**(National Oceanography Centre) que es un robot submarino autónomo desarrollado por la Universidad de Southampton en el Reino Unido con una velocidad de desplazamiento de 0,4 m/s, capaz de llevar a cabo misiones de hasta seis meses de duración y sumergirse hasta una profundidad de 6.000 metros. Utiliza el algoritmo SLAM para navegar y mapear el fondo marino, pero la navegación precisa es un desafío debido a que las señales de los satélites no pueden penetrar el agua.

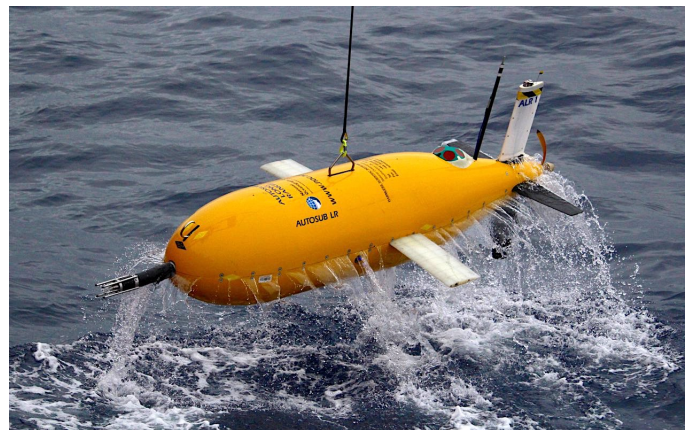


Figura 5.1: Robot submarino Autosub Long Range (ASLRA)

Se basa en un enfoque conocido como navegación a estima, que consiste en rebotar el sonido en el lecho marino y medir el desplazamiento Doppler de los ecos para medir la velocidad en relación con este. Utiliza un sensor basado en giroscopio de fibra óptica para detectar su rumbo con una

precisión de navegación de aproximadamente un metro de error por cada kilómetro recorrido.

Los oceanógrafos pueden obtener mediciones precisas de las propiedades de los océanos y los fondos marinos en una escala oceánica gracias al uso de este robot submarino autónomo. Este AUV no requiere un barco de investigación y recolecta datos durante su navegación subacuática, los cuales son transmitidos a los científicos a través de un enlace satelital Iridium cada vez que el robot regresa a la superficie.

Otro robot que emplea un sistema de navegación similar al descrito para el modelo ASLRA es el vehículo submarino autónomo **Nereus** (Institución Oceanográfica Woods Hole, EE. UU.) (HROV) que ha sido diseñado para realizar estudios científicos en toda la profundidad del océano, significativamente más profundo que la capacidad de profundidad de todos los demás vehículos operativos actuales.

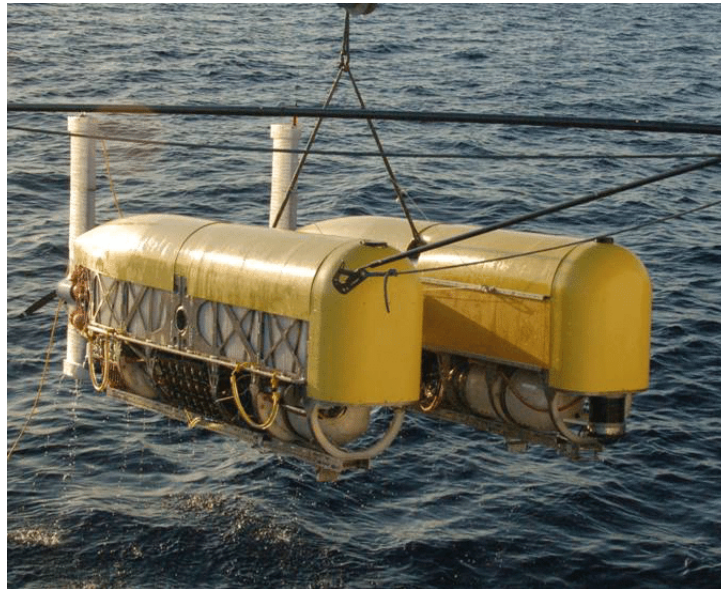


Figura 5.2: Robot submarino Nereus

El conjunto de sensores de navegación de Nereus incluye un sensor de presión, un sensor CTD, una sonda Doppler, una IMU, un transceptor LBL, un micromódem y un sensor de rumbo magnético y actitud giroestabilizada que sirven para explorar y mapear el fondo del mar con este robot.

La profundidad del vehículo se calcula usando la precisión registrada utilizando los métodos estándar, el sonar Doppler proporciona su velocidad con respecto al fondo del mar y a su vez la IMU que contiene una brújula giroscópica de fibra óptica de 3 ejes que busca el norte que proporciona

actitud y rumbo con una precisión de $0,01^\circ$.

Los datos de navegación proporcionados por los dichos sensores se reciben por la computadora Nereus en la que se realizan las estimaciones del estado del vehículo.

Apartado 6

Conclusión

En conclusión, la robótica submarina es un campo en constante evolución que permite la exploración de regiones del fondo marino desconocidas o inseguras. Los sistemas de localización y mapeado son fundamentales para la navegación autónoma de los robots submarinos, especialmente en ausencia de un mapa previo. Los mapas de coste y los algoritmos como SURF3DSLAM son herramientas clave para lograr esta tarea.

Los robots submarinos tienen un gran potencial para ayudar en la exploración estudio del fondo marino, así como intervenir en desastres ambientales.

Bibliografía

[Institución Oceanográfica Woods Hole, EE. UU.] Institución Oceanográfica Woods Hole, EE. UU. Navegación y control del vehículo submarino híbrido nereus para la ciencia oceánica mundial a 10.903 m de profundidad: resultados preliminares. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5509265>. [Online; accessed 12-January-2023].

[National Oceanography Centre] National Oceanography Centre. <https://noc.ac.uk/facilities/marine-autonomous-robotic-systems/autosubs>. [Online; accessed 12-January-2023].

Comisión Europea (2015). Localización y mapeo por sónar para vehículos submarinos <https://cordis.europa.eu/article/id/152143-sonar-localisation-and-mapping-for-underwater-vehicles/> es [Online; accessed 12-January-2023]

García Montañes, L. (2017). Navegación sin mapa y mapeado en robótica móvil para entornos no estructurados. *Universidad de Sevilla* https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/69566/TFG_Luis%20Garc%C3%ADa%20Monta%C3%B1es.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Giancarlo Troni (2018). Mapeo del fondo marino y localización de vehículos submarinos. *SCHM-DIT OCEAN INSTITUTE*. <https://schmidt-ocean.org/cruise-log-post/mapeo-del-fondo-marino-y-localiza> [Online; accessed 12-January-2023]

Moreno, H., Saltarén, R., Puglisi, L., Carrera, I., Cárdenas, P., Álvarez, C. (2014). Robótica Submarina: Conceptos, Elementos, Modelado y Control. https://digital.csic.es/bitstream/10261/111496/1/Saltaren_R_Robotica_Submarina_Revista_Iberoamericana_Automatica_Informatica_industrial_11_2014_3%E2%80%9319.pdf